

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 09287644
PUBLICATION DATE : 04-11-97

APPLICATION DATE : 23-04-96
APPLICATION NUMBER : 08101084

APPLICANT : TOA STEEL CO LTD;

INVENTOR : EGUCHI TOYOAKI;

INT.CL. : F16H 55/06 C21D 9/32 C22C 38/00 C22C 38/34 C22C 38/50 C23C 8/22

TITLE : HIGH STRENGTH LOW HEAT TREATMENT DEFORMATION GEAR AND
MANUFACTURE THEREOF

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To manufacture a large gear having an extremely low strain after carbonization quenching.

SOLUTION: 0.13-0.25wt.% C, 0.70-1.80wt.% Si, 0.30-1.50wt.% Mn, 0.20-1.50wt.% Cr, 0.01-1.00wt.% Mo, and 0.01-0.07wt.% Sol Al are contained. One or more kinds selected from 0.01-1.00wt.% Ni, 0.01-1.00wt.% V, 0.01-0.10wt.% Ti, 0.01-1.0wt.% Nb, and 0.01-0.10wt.% are contained as a selection element. A remaining part consists of Fe and an inevitable impurity. Mixture texture is martensite containing Ac_3 parameter $=920-203\sqrt{C+44.7Si+31.5Mo-30Mn-11Cr+40Al-15.2Ni+104V+40Ti}$, internal hardness of HRC 22-47 of a gear, a carbonization quenching effective cured layer depth of 0.3mm or more, a carbonization quenching surface layer grain oxidation layer depth of 10 μ m, or less, non- carbonization part internal texture having 10-50area% ferrite, and partially containing remaining bainite an /or a residue r.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-287644

(43) 公開日 平成9年(1997)11月4日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
F 1 6 H 55/06			F 1 6 H 55/06	
C 2 1 D 9/32			C 2 1 D 9/32	A
C 2 2 C 38/00	3 0 1		C 2 2 C 38/00	3 0 1 N
38/34			38/34	
38/50			38/50	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平8-101084

(22) 出願日 平成8年(1996)4月23日

(71) 出願人 000109820

トーア・スチール株式会社
東京都千代田区五番町6番地2

(72) 発明者 馬島 弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋一丁目1番6号

(72) 発明者 村上 俊之

宮城県仙台市若林区中倉2丁目17番25号

(72) 発明者 江口 豊明

宮城県仙台市泉区鶴が丘4丁目11番28号

(74) 代理人 弁理士 潮谷 奈津夫

(54) 【発明の名称】 高強度、低熱処理変形歯車およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 浸炭焼入れ後の歪みの極めて小さい大型歯車を製造する。

【解決手段】 重量%で、C : 0.13~0.25%、Si : 0.70~1.80%、Mn : 0.30~1.50%、Cr : 0.20~1.50%、Mo : 0.01~1.00%、Sol Al : 0.01~0.07% を含有し、選択元素として、Ni : 0.01~1.00%、V : 0.01~1.00%、Ti : 0.01~0.10%、Nb : 0.01~0.10%、Zr : 0.01~0.10% から1種以上を含有し、残部 : Fe及び不可避不純物からなり、 Ac_3 パラメーター = $920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$ が $850 \sim 950^\circ\text{C}$ 、歯車の内部硬さがHRC 22~47、浸炭焼入れ有効硬化層深さ0.3 mm以上、浸炭焼入れ表層粒界酸化層深さ10 μm 以下、非浸炭部内部組織がフェライトを面積率%で10~50%、残部ベイナイト及び／又は残留 γ を一部含んでもよいマルテンサイトである混合組織にする。

【特許請求の範囲】

【請求項1】炭素(C) : 0.13~0.25wt.%,

シリコン(Si) : 0.70~1.80wt.%,

マンガン(Mn) : 0.30~1.50wt.%,

クロム(Cr) : 0.20~1.50wt.%,

$$Ac_3 = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

但し、(1) 式中のNi、V およびTiの含有量 (wt.%) は不可避免的に混入した場合の含有量 (wt.%)、によって算出される Ac_3 点パラメーターが、850 ~ 950 °Cの範囲内となる化学成分組成を有し、

歯車の内部硬さがロックウェルC硬さで22~47の範囲内（但し、歯車の内部硬さとは、歯底円と、歯先中心と歯車軸芯とを結ぶ直線と、の交点の位置における硬さをいう。）にあり、そして、

表層の浸炭焼入れ部における有効硬化層深さが0.3 mm以上、前記浸炭焼入れ部表層の粒界酸化層の深さが10 μm以下であり、且つ、非浸炭部の内部組織が、フェライトを面積率% で10~50% 含み、残部がベイナイトおよび/または残留オーステナイトを一部含んでもよいマルテンサイトである混合組織になっていることを特徴とする、高強度、低熱処理変形歯車。

【請求項2】炭素(C) : 0.13~0.25wt.%,

$$Ac_3 = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

但し、(1) 式中のNi、V およびTiの含有量 (wt.%) は不可避免的に混入した場合の含有量 (wt.%)、によって算出される Ac_3 点パラメーターが、850 ~ 950 °Cの範囲内となる化学成分組成を有し、

歯車の内部硬さがロックウェルC硬さで22~47の範囲内（但し、歯車の内部硬さとは、歯底円と、歯先中心と歯車軸芯とを結ぶ直線と、の交点の位置における硬さをいう。）にあり、そして、

表層の浸炭焼入れ部における有効硬化層深さが0.3 mm以上、前記浸炭焼入れ部表層の粒界酸化層の深さが10 μm以下であり、且つ、非浸炭部の内部組織が、フェライトを面積率% で10~50% 含み、残部がベイナイトおよび

$$Ac_3 = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

但し、(1) 式中のNi、V およびTiの含有量 (wt.%) は不可避免的に混入した場合の含有量 (wt.%)、によって算出される Ac_3 点パラメーターが、850 ~ 950 °Cの範囲内となる化学成分組成を有し、ジョミニー式一端焼入れ試験後の試験片のロックウェルC硬さが、焼入れ端から5 mmおよび9 mmのそれぞれの位置において30~47の範囲内および22~42の範囲内にある歯車用鋼材に対して、鍛造を施すことにより歯車に加工し、前記歯車に浸炭焼入れを施すことにより表層の浸炭部の有効硬化層深さを0.3 mm以上、表面の粒界酸化層の深さを10 μm 以下、且つ、非浸炭部の内部組織を、フェライト

モリブデン(Mo) : 0.01~1.00wt.%, および、

アルミニウム(Sol Al) : 0.01 ~ 0.07wt.%,

を含有し、

残部：鉄(Fe)および不可避免の不純物

からなり、且つ、下記(1) 式：

シリコン(Si) : 0.70~1.80wt.%,

マンガン(Mn) : 0.30~1.50wt.%,

クロム(Cr) : 0.20~1.50wt.%,

モリブデン(Mo) : 0.01~1.00wt.%, および、

アルミニウム(Sol Al) : 0.01 ~ 0.07wt.%,

を含有し、更に、下記化学成分組成からなる群：

ニッケル(Ni) : 0.01~1.00wt.%, および、

バナジウム(V) : 0.01~1.00wt.%,

から選んだ少なくとも1つの元素、並びに/または、下記化学成分組成からなる群：

チタン(Ti) : 0.01~0.10wt.%,

ニオブ(Nb) : 0.01~0.10wt.%, および、

ジルコニウム(Zr) : 0.01~0.10wt.%,

から選んだ少なくとも1つの元素が付加され、

残部：鉄(Fe)および不可避免の不純物

からなり、且つ、下記(1) 式：

または残留オーステナイトを一部含んでもよいマルテンサイトである混合組織になっていることを特徴とする、高強度、低熱処理変形歯車。

【請求項3】炭素(C) : 0.13~0.25wt.%,

シリコン(Si) : 0.70~1.80wt.%,

マンガン(Mn) : 0.30~1.50wt.%,

クロム(Cr) : 0.20~1.50wt.%,

モリブデン(Mo) : 0.01~1.00wt.%, および、

アルミニウム(Sol Al) : 0.01 ~ 0.07wt.%,

を含有し、

残部：鉄(Fe)および不可避免の不純物

からなり、且つ、下記(1) 式：

$$Ac_3 = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

が面積率% で10~50%、残部がベイナイトおよび/または残留オーステナイトを一部含んでもよいマルテンサイトである混合組織となし、そして、前記歯車に対して焼戻し処理を施すことを特徴とする高強度、低熱処理変形歯車の製造方法。

【請求項4】炭素(C) : 0.13~0.25wt.%,

シリコン(Si) : 0.70~1.80wt.%,

マンガン(Mn) : 0.30~1.50wt.%,

クロム(Cr) : 0.20~1.50wt.%,

モリブデン(Mo) : 0.01~1.00wt.%, および、

アルミニウム(Sol Al) : 0.01 ~ 0.07wt.%,

を含有し、更に、下記化学成分組成からなる群：

ニッケル(Ni) : 0.01~1.00wt.%, および、

バナジウム(V) : 0.01~1.00wt.%

から選んだ少なくとも1つの元素、並びに/または、下記化学成分組成からなる群：

チタン(Ti) : 0.01~0.10wt.%,

$$Ac_0 = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

但し、(1) 式中のNi、V およびTiの含有量 (wt.%) は不可避免的に混入した場合の含有量 (wt.%)、によって算出される Ac_0 点パラメーターが、850 ~ 950 °C の範囲内となる化学成分組成を有し、ジョミニー式一端焼入れ試験後の試験片のロックウェルC硬さが、焼入れ端から5 mm および 9 mm のそれぞれの位置において30~47 の範囲内および22~42 の範囲内にある歯車用鋼材に対して、鍛造を施すことにより歯車に加工し、前記歯車に浸炭焼入れを施すことにより表層の浸炭部の有効硬化層深さを0.3 mm 以上、表面の粒界酸化層の深さを10 μm 以下、且つ、非浸炭部の内部組織を、フェライトが面積率%で10~50%、残部がベイナイトおよび/または残留オーステナイトを一部含んでもよいマルテンサイトである混合組織となし、そして、前記歯車に対して焼戻し処理を施すことを特徴とする高強度、低熱処理変形歯車の製造方法。

【請求項5】前記浸炭焼入れおよび前記焼戻し処理を施された前記歯車に対して、更に、ショットピーニングまたは/およびハードショットピーニングを施すことを付加することを特徴とする請求項3または4記載の高強度、低熱処理変形歯車の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、例えば、自動車、建設機械および産業機械等の歯車として好適な、鋼材浸炭焼入れ時の歪み量が極めて小さい、高強度、低熱処理変形歯車およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】最近の自動車においては、運転時における静粛性が著しく向上しているが、それにもかかわらず運転時に騒音が生ずる。これは、主として歯車から発生するギヤノイズによるものである。ギヤノイズは、歯車の噛み合いの不具合によって発生するものであり、このような歯車の噛み合いの不具合は、所定形状に成形された歯車半製品に対し、その表面を硬化するために浸炭焼入れまたは浸炭窒化焼入れ（以下、浸炭焼入れと総称する）処理を施した時に生ずる歪みの結果発生する。特に、トラックやバスに使用される形状の大きな歯車では、質量効果が小さい焼入れ性の高い材料が要求され、このように焼入れ性が高くなると浸炭焼入れ処理を施したときに生ずる歪みがより顕著となり騒音が更に大きくなる。また、歯車の噛み合わせが悪くなるので、歯面上に

ニオブ(Nb) : 0.01~0.10wt.%, および、

ジルコニウム(Zr) : 0.01~0.10wt.%

から選んだ少なくとも1つの元素が付加され、

残部：鉄(Fe)および不可避免的な不純物

からなり、且つ、下記(1) 式：

ピッチングが生じ易くなる。

【0003】即ち、歯車用鋼材に対する浸炭焼入れ時に、マルテンサイトの生成による変態応力、即ち、オーステナイト組織からマルテンサイト組織に変態する時に生ずる体積膨張に起因する応力が発生するため、鋼材に歪みが生ずることを避けることができず、その結果、歯車の寸法精度を高く維持することができない。このためギヤノイズが発生する。特に、自動車のトランスミッション用ギヤにおいては、騒音に対して極めて厳しい制限があるにもかかわらず、その形状が小さく且つ肉厚が薄く、そしてギヤ内部の組織が、ベイナイトを一部含むマルテンサイト主体の組織になっているために、浸炭焼入れ時に歪みが生じやすく、これが歯車騒音の最大の発生原因になっている。

【0004】そこで、歯車の寸法精度の向上を図るために、浸炭焼入れされた歯車半成品を機械切削加工して、浸炭層を部分的に除去し、焼入れ歪み量を低減させる歯形修正処理を施す方法がある。しかしながら、このような機械研削による歯形修正では、製造工程が増えることにより生産性が大幅に低下するのみならず、機械研削加工により製造コストが大幅に高騰するうえ、表面硬さや残留応力にむらが生ずるので、品質上からも問題がある。

【0005】上述した点から、歯車用鋼材は、浸炭焼入れ後、歯形修正処理を施さずに使用されることが多く、従って、浸炭焼入れされた歯車半成品の寸法精度向上のために、焼入れ歪みを低減することが必要とされている。このような浸炭焼入れ歪み量は、素材の焼入れ性によって大きく影響される。更に、浸炭焼入れは、通常約920 °C の高温で行われるので、浸炭中にオーステナイト結晶粒が粗大化することも、歪み発生原因の一つとされている。

【0006】歯車用鋼材の焼入れ歪み量を低減する方法については、従来から種々の研究がなされており、一般に、低歪み鋼に対してはジョミニー式一端焼入れ試験後の硬さがジョミニーバンドの下限になるように、鋼材の化学成分組成を特定の狭い範囲内にコントロールして焼入れ性を低く抑える方法が知られ、また、特開平4-247848号公報および特開昭59-123743号公報等は、浸炭および保温中の結晶粒粗大化を抑制するために、鋼中に、Al、Ti、Nb等の結晶粒微細化元素を適正量添加することにより結晶粒を微細に調整する方法（以下、「先行技術

1」という)を開示している。

【0007】また、特開平5-70925号公報は、特定範囲のSi、Mn、Cr、MoおよびV等を含有する鋼からなる歯車半成品に対し、浸炭窒化処理を施した後、これを歯表面部即ち浸炭窒化部(以下、同じ)のAr₁変態点以下の温度域まで冷却し、次いで、再度歯表面部のAr₃変態点以上で且つ歯内部即ち非浸炭部(以下、同じ)のAr₁変態点以下である温度域に保持することにより、歯表面部をオーステナイト組織に保ちつつ歯内部を微細なフェライト・パーライト組織にし、次いで、焼入れをし、そして、焼戻しをすることにより、歯表面部の浸炭窒化部をマルテンサイトにし、既に変態を終了している歯内部を焼きの入っていないフェライトと微細パーライトに維持するという方法(以下、「先行技術2」という)を開示している。

【0008】図6に、歯車の歯内部、歯表面部および歯車芯部を説明する概略斜視図を示す。また、特開平3-260048号公報は、タフトライドやガス窒化、ガス軟窒化などの低温で行なう窒化処理により熱処理歪みの低減を図る方法(以下、「先行技術3」という)を開示している。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した各先行技術には、下記問題がある。先行技術1は、結晶粒を微細に調整することにより浸炭および保温中の結晶粒粗大化を抑制することができるので、歯内部における焼入れ歪みのバラツキを小さくすることができ、且つ、焼入れ歪みを均一化することができるという利点を有する。しかしながら、マルテンサイト変態に伴う歪みの発生を抑制するのに限界があり、歪みを十分に小さくすることができないという問題がある。このタイプの低歪み鋼材は、ジョミニ焼入れ性がジョミニバンドの規格範囲内で焼入れ性が低くなるように設計されており、小型部品を対象としたものである。このため、質量効果が小さく且つジョミニ焼入れ性で高い値を要求される大型歯車へは、先行技術1を適用することができない。

【0010】先行技術2は、歯内部をフェライト・パーライト組織にすることによりマルテンサイト発生に伴う体積膨張による焼入れ歪みを軽減することができるという利点を有する。しかしながら、先行技術2は、歯内部即ち非浸炭部がフェライト・パーライト組織であるために、十分な韌性を確保することが困難であり先行技術1と同様、大型歯車への適用は困難である。更に、熱処理温度を厳格に管理しなければならないので、熱処理操作が複雑となり、生産性を阻害するのみならず、コスト高になるという問題を有する。

【0011】先行技術3は、表面に硬い窒素化合物層を

形成させることができるので、良好な耐磨耗性を有する表面硬化層を得ることができ、また、500～700℃の低温域で処理するので処理部品の変形が小さいという利点を有する。しかしながら、先行技術3は、硬化層深さが浅く、十分な硬化層を得るには50～100時間にも及ぶ長時間の窒化処理が必要であるため、生産性を阻害するのみならず、コスト高になるという欠点を有する。

【0012】従って、この発明の目的は、上述した問題を解決し、浸炭処理をし、そして、焼入れおよび焼戻し処理をした後の歪みの発生量が極めて小さく、従って、寸法精度の高い歯車が得られ、その結果、使用時にギヤノイズが発生しない自動車、建設機械、産業機械等の歯車を、容易に且つ効率的に熱処理を行ない経済的に製造することができる、高強度、低熱処理変形歯車およびその製造方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、上述した問題を解決すべく鋭意研究を重ねた結果、下記知見を得た。

【0014】歯車用鋼材の浸炭焼入れ歪み量に影響を及ぼす主要因子は、オーステナイト組織がマルテンサイト組織に変態するときに生ずる体積膨張に起因する歪み量にあることから、本発明者等は、焼入れ前の加熱時にオーステナイト組織中にフェライトを面積率%で10～50%混在させ、浸炭焼入れ後の組織をフェライト・マルテンサイト二相組織とすることにより、焼入れ歪み量が劇的に低減することを見出した。

【0015】そこで、通常の浸炭条件によって、オーステナイト組織中にフェライトを混在させるためには、Ac₃変態温度を高める必要がある。そこで、鋼中Si、Mn、Cr、Mo、Al、V等の元素の、Ac₃変態温度に及ぼす影響について詳細に検討した結果、これらの元素の含有量を適正に限定することにより、通常の浸炭条件でも容易にフェライト・マルテンサイト二相組織が得られた。しかも、フェライト強化元素によって歯内部(非浸炭部)が強化されているのでフェライトが混在していても硬さが低下しない。この結果、本発明方法による鋼材は疲労強度を低下させることなく焼入れ歪み量を劇的に低減し得るので、今まで不可能であった大型部品での低歪み化が可能であることを知見した。

【0016】この発明は、上記知見に基づいてなされたものである。請求項1記載の発明の高強度、低熱処理変形歯車は、下記の通りである。化学成分組成が重量%で、C:0.13～0.25%、Si:0.70～1.80%、Mn:0.30～1.50%、Cr:0.20～1.50%、Mo:0.01～1.00%、および、Sol Al:0.01～0.07%を含有し、残部:Feおよび不可避的不純物からなり、且つ、下記(1)式:

$$Ac_3 = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

(但し、(1) 式中のNi、V およびTiの含有量 (wt.%) は不可避免的に混入した場合の含有量 (wt.%) を表わす。) によって算出される A_{c_0} 点パラメーターが、850～950℃の範囲内となる条件を満たし、歯車の内部硬さがロックウェルC硬さで22～47の範囲内(但し、歯車の内部硬さとは、歯底円と、歯先中心と歯車軸芯とを結ぶ直線と、の交点の位置における硬さをいう。)にあり、そして、表層の浸炭焼入れ部における有効硬化層深さが0.3mm以上、前記浸炭焼入れ部表層の粒界酸化層の深さが10μm以下であり、且つ、非浸炭部の内部組織が、フェライトを面積率%で10～50%含み、残部がベイナイトおよび/または残留オーステナイトを一部含んでもよいマルテンサイトである混合組織になっていることに特徴を有するものである。

【0017】なお、図1に、歯車の内部硬さの測定位置

$$A_{c_0} = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

(但し、(1) 式中のNi、V およびTiの含有量 (wt.%) は不可避免的に混入した場合の含有量 (wt.%) である。) によって算出される A_{c_0} 点パラメーターが、850～950℃の範囲内となる条件を満たし、歯車の内部硬さがロックウェルC硬さで22～47の範囲内(但し、歯車の内部硬さとは、歯底円と、歯先中心と歯車軸芯とを結ぶ直線と、の交点の位置における硬さをいう。)にあり、そして、表層の浸炭焼入れ部における有効硬化層深さが0.3mm以上、前記浸炭焼入れ部表層の粒界酸化層の深さが10μm以下であり、且つ、非浸炭部の内部組織が、フェ

$$A_{c_0} = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

(但し、(1) 式中のNi、V およびTiの含有量 (wt.%) は不可避免的に混入した場合の含有量 (wt.%) を表わす。) によって算出される A_{c_0} 点パラメーターが、850～950℃の範囲内となる条件を満たし、且つ、ジョミニ式一端焼入れ試験後の試験片のロックウェルC硬さが、焼入れ端から5mmおよび9mmのそれぞれの位置において30～47の範囲内および22～42の範囲内にある歯車用鋼材に対して、鍛造を施すことにより歯車に加工し、前記歯車に浸炭焼入れを施すことにより表層の浸炭部の有効硬化層深さを0.3mm以上、表面の粒界酸化層の深さを10μm以下、且つ、非浸炭部の内部組織を、フェライトが面積率%で10～50%、残部がベイナイトおよび/または残留オーステナイトを一部含んでもよいマルテンサイトである混合組織となし、そして、前記歯車に対して焼戻し処理を施すことに特徴を有する

$$A_{c_0} = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

(但し、(1) 式中のNi、V およびTiの含有量 (wt.%) は不可避免的に混入した場合の含有量 (wt.%) である。) によって算出される A_{c_0} 点パラメーターが、850～950℃の範囲内となる条件を満たし、且つ、ジョミニ式一

を示す。同図において7は歯底円の一部分、8は歯先中心、9は歯車軸芯、そしてA点が硬さ測定位置である。請求項2記載の発明の高強度、低熱処理変形歯車は、次の通りである。

【0018】化学成分組成が重量%で、C:0.13～0.25%、Si:0.70～1.80%、Mn:0.30～1.50%、Cr:0.20～1.50%、Mo:0.01～1.00%、および、Sol Al:0.01～0.07%を含有し、更に、下記化学成分組成からなる群:

Ni:0.01～1.00wt.%、および、V:0.01～1.00wt.%から選んだ少なくとも1つの元素、並びに/または、下記化学成分組成からなる群:

Ti:0.01～0.10%、Nb:0.01～0.10%、および、Zr:0.01～0.10%から選んだ少なくとも1つの元素を付加して含有し、残部:Feおよび不可避免の不純物からなり、且つ、下記(1)式:

ライトを面積率%で10～50%含み、残部がベイナイトおよび/または残留オーステナイトを一部含んでもよいマルテンサイトである混合組織になっていることに特徴を有するものである。

【0019】請求項3記載の発明の高強度、低熱処理変形歯車の製造方法は、次の通りである。化学成分組成が重量%で、C:0.13～0.25%、Si:0.70～1.80%、Mn:0.30～1.50%、Cr:0.20～1.50%、Mo:0.01～1.00%、および、Sol Al:0.01～0.07%を含有し、残部:Feおよび不可避免の不純物からなり、且つ、下記(1)式:

ものである。

【0020】請求項4記載の発明の高強度、低熱処理変形歯車の製造方法は、次の通りである。化学成分組成が重量%で、C:0.13～0.25%、Si:0.70～1.80%、Mn:0.30～1.50%、Cr:0.20～1.50%、Mo:0.01～1.00%、および、Sol Al:0.01～0.07%を含有し、更に、下記化学成分組成からなる群:

Ni:0.01～1.00wt.%、および、V:0.01～1.00wt.%から選んだ少なくとも1つの元素、並びに/または、下記化学成分組成からなる群:

Ti:0.01～0.10%、Nb:0.01～0.10%、および、Zr:0.01～0.10%から選んだ少なくとも1つの元素を付加して含有し、残部:Feおよび不可避免の不純物からなり、且つ、下記(1)式:

端焼入れ試験後の試験片のロックウェルC硬さが、焼入れ端から5mmおよび9mmのそれぞれの位置において30～47の範囲内および22～42の範囲内にある歯車用鋼材に対して、鍛造を施すことにより歯車に加工

し、前記歯車に浸炭焼入れを施すことにより表面の浸炭部の有効硬化層深さを0.3mm以上、表面の粒界酸化層の深さを10μm以下、且つ、非浸炭部の内部組織を、フェライトが面積率%で10～50%、残部がベイナイトおよびまたは残留オーステナイトを一部含んでもよいマルテンサイトである混合組織となし、そして、前記歯車に対して焼戻し処理を施すことに特徴を有するものである。

【0021】請求項5記載の発明の高強度、低熱処理変形歯車の製造方法は、上述した本発明の二つの製造方法のいずれかにおいて、浸炭焼入れ焼戻し処理を施された歯車に対して、更に、ショットピーニングまたは／およびハードショットピーニングを施すことを付加することに特徴を有するものである。

【0022】

【発明の実施の形態】この発明の方法によれば、 Ac_3 変態温度を高め、且つ焼入れ性を向上させる元素であるSi、MoおよびV、並びに、 Ac_3 変態温度を高めるAlおよびTiの含有量を増加させることによって、ジョミニ式一端焼入れ試験後の試験片にて焼入れ性を満足するロックウェルC硬さが得られ、且つ、浸炭焼入れ処理により容易にフェライト・マルテンサイト二相組織とすることができ、フェライトがマルテンサイトの膨張歪みを吸収することによって焼入れ歪み量が大幅に減少し、更に、焼入れ時の歯車の芯部（以下、「歯車芯部」という。図6参照）の硬さも十分に確保できるので、従来鋼と遜色のない疲労強度が得られる。

【0023】トラックやバスに使用される大型形状の歯車では、焼入れ性の高いことが要求されるが、この発明の方法によれば、高い焼入れ性が得られ、且つ、フェライト・マルテンサイト二相組織とすることにより低歪み特性を備えた鋼材が得られ、大型部品への適用が可能な高強度型の低歪み鋼材の製造が可能となる。

【0024】また、自動車の歯車においては、歯元疲労強度の向上を目的として、ショットピーニング処理が施されることが多いが、本発明方法により得られる鋼材によれば、表面の粒界酸化層の形成が抑制され、且つ、焼入れ不良組織が発生しないので、ショットピーニング処理を施しても、表面粗さが劣化することなく歯元疲労強度が増加する。更に、Si、MoおよびVによって焼戻し軟化抵抗が増大し、従って、面疲労強度が向上することを確認した。

【0025】このように、この発明においては、鋼材中の各元素は種々の作用効果を発揮し、鋼材に含有されるべき化学成分元素は必須成分と選択成分とからなる。そして、選択成分は、焼入れ性を高める点で共通の作用効果を有するNiおよびVと、オーステナイト結晶粒を微細化するのに有効である点で共通の作用効果を有するTi、NbおよびZrとの2グループに分けた。

【0026】次に、この発明の高強度、低熱処理変形歯

車の製造方法において用いる鋼の化学成分組成、歯車および歯車半製品が具備すべき特性値、並びに、製造条件を上述した範囲内に限定した理由について以下に述べる。

【0027】(1) 炭素(C)

炭素は、浸炭焼入れによる歯車芯部の強度を保証する上で必要な基本的元素であり、その作用を発揮させるためには、0.13wt.%以上含有していることが必要であり、0.13wt.%未満では、有効な浸炭硬化層深さを得るための熱処理時間が長くなるので望ましくない。しかしながら、炭素含有量が0.25wt.%を超えると靱性の劣化および被削性の低下を招く。従って、炭素含有量は、0.13～0.25wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0028】(2) シリコン(Si)

シリコンは、この発明において下記の通り重要な役目を果たす元素である。即ち、シリコンは、表面層の粒界酸化の防止に有効であり、またフェライト形成元素であるから Ac_3 変態点を高めるのに有効であり、且つ、比較的安価な元素である。しかしながら、シリコン含有量が0.70wt.%未満では、浸炭処理時に浸炭ガス中に不可避免的に存在する微量酸素と結合する表面のシリコン濃度が低過ぎるために、上記微量酸素が鋼材の深部まで侵入して、粒界酸化層が著しく深くなる結果、疲労強度の低下を招く。一方、シリコン含有量が1.80wt.%を超えて過剰になると、フェライト量が多くなり過ぎて、強度および靱性が低下するのみならず、 SiO_2 系の非金属介在物が増加する結果、逆に疲労強度の低下を招く。従って、シリコン含有量は、0.70～1.80wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0029】更に、シリコンは焼戻し軟化抵抗を増大させて、面疲労強度を向上させる。

(3) マンガン(Mn)

マンガンは、焼入れ性を向上させ、そして歯車芯部の強度を確保するのに有効な元素であり、その作用を発揮させるためには、0.30wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、マンガンには Ac_3 変態点を大きく低下させる作用があるので、その含有量が1.50wt.%を超えて多量になると、マルテンサイトおよびフェライトの二相組織が得られなくなるだけでなく、硬度が高くなり過ぎ、被削性の劣化を招く。従って、マンガン含有量は、0.30～1.50wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0030】(4) クロム(Cr)

クロムは、マンガンと同様に焼入れ性を向上させるのに有効な元素であり、その作用を発揮させるためには0.20wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、クロムにはマンガンと同様に Ac_3 変態点を低下させる作用があるので、その含有量が1.50wt.%を超えて多量になると、マルテンサイトおよびフェライトの二相組織が得られなくなるだけでなく、硬度が高くなり過ぎ、被削性の劣化を招く。従って、クロム含有量は、0.20～1.50wt.%

1. %の範囲内に限定すべきである。

【0031】(5) モリブデン(Mo)

モリブデンは A_{c3} 変態点を高めてフェライト生成に有効であり、更に、焼入れ性、焼戻し軟化抵抗性、靱性および疲労強度を向上させるのに有効な元素であり、その作用を発揮させるためには0.01wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、モリブデンは極めて高価な元素であり、その含有量が1.00wt.%を超えて添加しても上記効果は飽和して経済的な不利を招く。従って、モリブデン含有量は、0.01~1.00wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0032】(6) アルミニウム(Al)

アルミニウムは窒素と結合して AlN を生成し、結晶粒を微細化させることにより、焼入れ時の歪みを小さくする上、靱性および疲労強度を向上させるのに有効な元素である。このためには0.01wt.%以上含有していることが必要である。またアルミニウムはシリコンと同様にフェライト形成元素であり、経済的に A_{c3} 変態点を大きく高めることができる。しかしながら、アルミニウム含有量が0.07wt.%を超えて多量になるとアルミナ系介在物が増加して、靱性および疲労強度の低下を招く。従って、アルミニウム含有量は、0.01~0.07wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0033】(7) ニッケル(Ni)

ニッケルは、焼入れ性および靱性を高めるのに有効な元素であり、その作用を発揮させるためには、0.01wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、ニッケル含有量が1.0 wt.%を超えて多量になると硬度が高くなり過ぎ、被削性が劣化する上、ニッケルは高価な元素であるために経済的な不利を招く。従って、ニッケル含有量は、0.01~1.00wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0034】(8) バナジウム(V)

バナジウムは、 A_{c3} 変態点を高める作用が大きく、また焼入れ性を高め歯面疲労強度を向上させ、焼戻し軟化抵抗を増大させて、面疲労強度を向上させるのに有効な元素であり、且つ、炭窒化物を生成し結晶粒を微細化させ、焼入れ歪みを小さく抑える作用を有しており、その作用を発揮させるためには0.01wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、バナジウム含有量が1.00 wt.%を超えると、その効果が飽和し経済的な不利を招くばかりか、炭窒化物の量が多くなって靱性の低下を招く。従って、バナジウム含有量は、0.01~1.00wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0035】(9) チタン(Ti)

チタンもフェライト形成元素であり、 A_{c3} 変態点を高め

$$A_{c3} = 920 - 203 \sqrt{C + 44.7Si + 31.5Mo - 30Mn - 11Cr + 40Al - 15.2Ni + 104V + 40Ti}$$

----- (1)

によって算出される A_{c3} 点パラメーターが、850 ~ 950 °Cの範囲内に入ることを満たすことを条件として付加すべきである。

る作用が大きく、またオーステナイト結晶粒を微細化するのに有効な元素であり、且つ、浸炭部および歯内部の降伏強度を高めて、疲労強度の向上に寄与する作用を有しており、その効果を発揮させるためには、0.01wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、チタン含有量が0.10wt.%を超えると、その効果が飽和し経済的な不利を招くばかりか、炭窒化物の量が多くなり過ぎて靱性の低下を招く。従って、チタン含有量は、0.01~0.10wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0036】(10) ニオブ(Nb)

ニオブもオーステナイト結晶粒を微細化するのに有効な元素であり、その作用を発揮させるためには0.01wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、ニオブ含有量が0.10wt.%を超えると、その効果が飽和し経済的な不利を招くばかりか、炭窒化物の量が多くなって靱性の低下を招く。従って、ニオブ含有量は、0.01~0.10wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0037】(11) ジルコニウム(Zr)

ジルコニウムもチタンおよびニオブと同様にオーステナイト結晶粒を微細化するのに有効な元素であり、その作用を発揮させるためには0.01wt.%以上含有させることが必要である。しかしながら、ジルコニウム含有量が0.10 wt.%を超えると、その効果が飽和し経済的な不利を招くばかりか、炭窒化物の量が多くなって靱性の低下を招く。従ってジルコニウム含有量は、0.01~0.10wt.%の範囲内に限定すべきである。

【0038】なお、上記鋼材中には、上述した元素の他に不可避不純物としてP、S、Cu、NおよびO等が混入してもよい。但し、Nは結晶粒を微細化させる目的で0.20wt.%の添加が許容される。また、被削性を向上させるために、必要に応じて、S、Pb、CaおよびSe等の快削元素を含有させてもよい。

【0039】(12) A_{c3} 点パラメーター:

図2に、この発明で採用した浸炭焼入れ焼戻し処理の熱処理パターンを示す。即ち、歯車用鋼材を920°Cで浸炭し、炭素を鋼の内部に拡散させた後、歪みを低減するため浸炭温度より低温の850°Cに保持した後、オイル等で急冷して焼入れをする。従って、下記(1)式によって算出される歯車用鋼材の A_{c3} 点パラメーターが850 °C未満では、浸炭後に850°Cに保持しても、オーステナイト中にフェライトを確保することができない。一方、上記 A_{c3} 点パラメーターが950 °Cを超えると、オーステナイト中のフェライト量が過剰になり、歯車芯部の強度が不足する。従って、本発明鋼の化学成分組成には、下記(1)式:

【0040】(13) ジョミニー式一端焼入れ試験による硬さ、および、歯車の内部硬さ
ジョミニー式一端焼入れは、鋼の焼入れ性を調べる試験

である。所望の歯車芯部強度と歯元疲労強度を得るにはオーステナイト粒度番号が5番以上の細粒である。と、本発明歯車の鋼材のジョミニー一端焼入れ試験後の試験片のロックウェルC硬さ(以下、「一端焼入れ硬さ」という)を、焼入れ端から9mmの点(以下、「J9mm」という)で22~42の範囲内にある鋼にすることが必要である。また、質量効果が小さいことが要求される大型部品へ適用する場合には、この硬さが39~42の範囲内にすることが望ましい。

【0041】一方、耐ピッチング性を良好にするために、浸炭焼入れ後における有効硬化層深さを0.3mm以上確保することが必要であり、そのためには、一端焼入れ硬さが、焼入れ端から5mmの点(以下、「J5mm」という)で30~47の範囲内にある鋼にすることが必要であり、また、大型部品へ適用する場合には43~47の範囲内にすることが望ましい。

【0042】硬さの上記限定範囲を製品としての歯車の内部硬さの限定範囲に対応させると、ロックウェルC硬さで、22~47の範囲内に相当する。

(14) 歯車の歯内部硬さ

歯車の歯内部硬さの測定位置については、歯の大きさによらず歯底円と歯先中央との交点の位置と定めた。このように測定位置を定めることにより、上記J9mmおよびJ5mmでの一端焼入れ硬さに相当する硬さとして、ロックウェルC硬さは22~47に相当する。従って、歯内部硬さをロックウェルC硬さが22~47の範囲内にあることとした。

【0043】(15) 歯内部組織(非浸炭部)のフェライト量
浸炭焼入れ・焼戻し後の非浸炭部である歯内部組織のフェライト量が、面積率%で10%未満ではマルテンサイトの変態歪みを十分に吸収することができず、焼入れ歪みを小さく抑制することができない。一方、上記フェライト量が面積率%で50%を超えると、歯内部において所

望の強度および靱性を確保することが困難になる。従って、歯内部の組織のフェライト%、面積率%で10~50%の範囲内に限定すべきである。

【0044】なお、この時、マルテンサイトには残留オーステナイトおよび またはベイナイトを一部含んでいてもよい。

(16) ネイビーC試験片における浸炭焼入れ後の歪み量
浸炭焼入れ後の歪み量測定は、通常、図3に示すネイビーC試験片の試験後の開口部の変化率を測定する。ネイビーC試験片における浸炭焼入れ後の歪み量が2.0%を超えるような大きな歪みを示す鋼を用いて歯車に加工し、これを浸炭焼入れした場合には大きな変形が生じて機械研削により歯形修正処理をしなければならず、機械研削を省略することができない。もし、歯形研削を行わずに浸炭焼入れのまま歯車として使用可能とするためには、ネイビーC試験片における浸炭焼入れ後の歪み量を1.0%以下にしなければならない。

【0045】(17) ショットピーニング、ハードショットピーニング

前述したように、ショットピーニングまたはハードショットピーニング処理により歯元疲労強度の向上を図る。本発明による歯車では、浸炭焼入れにより発生する表面の粒界酸化層の深さは極めて浅く、且つ、焼入れ異常組織が発生しないので、ショットピーニング処理を施しても表面粗さを劣化させることなく面疲労強度を向上させ得る。

【0046】

【実施例】次に、この発明を、実施例により比較例と対比しながら説明する。表1に実施例および比較例で用いたインゴットの化学成分組成、Ac₃点パラメーターおよび一端焼入れ硬さを示す。

【0047】

【表1】

表 1

	No.	化学成分組成 (wt.%)												Ac ₁ 点 パラメータ	一端焼入れ硬さ (HRC)	
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	Ni	V	Ti	Nb	Zr	J 5 mm	J 9 mm		
実施例	本発明鋼	1	0.21	1.44	0.70	0.51	0.77	0.03	0.04	—	—	—	—	889	41	35
		2	0.17	1.52	1.43	0.51	0.03	0.04	0.04	—	—	—	—	857	42	35
		3	0.23	1.41	0.74	0.51	0.84	0.02	0.05	—	—	—	—	884	45	39
		4	0.21	1.34	0.69	0.50	0.28	0.02	0.05	—	—	0.03	—	869	33	26
		5	0.15	0.71	0.39	1.44	0.20	0.05	0.01	—	—	—	—	854	34	28
		6	0.16	1.76	0.50	0.21	0.98	0.03	0.02	—	—	—	—	932	37	30
		7	0.20	1.38	0.76	0.60	0.10	0.02	0.30	—	—	—	—	863	34	27
		8	0.21	1.36	0.70	0.40	0.02	0.07	0.63	—	0.01	—	—	856	34	27
		9	0.13	1.75	1.48	0.26	0.35	0.04	0.86	—	—	0.09	0.02	877	41	34
		10	0.21	1.33	0.69	0.50	0.19	0.02	0.04	0.10	0.10	0.02	—	881	38	33
		11	0.24	0.91	0.33	0.90	0.15	0.02	0.02	0.03	0.04	—	0.08	851	35	27
比較例	比較鋼	12	0.21	0.73	1.59	1.60	0.78	0.02	0.04	—	—	—	—	819	46	45
		13	0.23	1.44	0.73	0.50	1.27	0.03	0.05	—	—	—	—	900	43	37
		14	0.08	0.45	0.16	0.52	0.25	0.03	0.20	—	—	0.54	—	878	29	22
		15	0.15	2.05	0.57	0.03	0.40	0.02	0.03	0.05	—	—	—	927	30	24
		16	0.30	1.60	0.35	0.40	0.33	0.56	1.15	—	0.15	—	—	887	48	37
		17	0.20	1.71	1.30	0.85	0.34	0.03	0.03	1.05	—	—	0.53	967	44	39
	従来鋼	18	0.20	0.23	1.43	0.51	0.02	0.02	0.03	—	—	—	—	792	39	24
		19	0.21	0.22	0.78	1.15	0.17	0.02	0.03	—	—	0.02	—	806	41	32
		20	0.22	0.25	0.85	1.21	0.31	0.02	0.03	—	—	—	—	807	44	40
		21	0.20	0.24	0.55	0.52	0.18	0.03	1.72	—	—	—	—	798	42	33

J 5mm、J 9mm：焼入れ端からの距離

【0048】本発明の範囲内の化学成分組成、Ac₁点パラメータおよび一端焼入れ硬さを有する本発明鋼No. 1～11、並びに、上記条件の内一つでも本発明の範囲外である比較鋼No. 12～17および従来鋼No. 18～21のインゴットを調製し、常法で熱間圧延して、直径20～90mmの丸棒鋼を調製し、得られた丸棒鋼に対して焼準処理を施した後、各丸棒の一部を一端焼入れ試験片、焼入れ歪み試験片および疲労試験片に加工した。次いで、一端焼入れ試験片に対し、一端焼入れ試験を行なった。また、焼入れ歪み試験片に対しては、浸炭焼入れ焼戻し処理を施した後、浸炭焼入れ歪み量を調べ、一方、疲労試験片に対しては、浸炭焼入れ焼戻し処理を施した後、ショットピーニングをした後、回転曲げ疲労特性および歯車疲労特性を調べた。また、25mmの丸棒鋼について浸炭焼入れ焼戻し処理を行なった後、引張試験片に加工して強度を調べた。

【0049】なお、ジョミニー一端焼入れ試験を除き浸炭焼入れ焼戻し条件はすべて、920℃×3Hrの条件で浸炭処理後、850℃の温度から油焼入れし、焼入れ温度での保持時間はすべて0.5Hrとし、次いで160℃×2Hrの条件で焼戻した。

【0050】上記試験片の経路を下記にまとめる。
直径20～90mmの丸棒鋼—(a) 焼準処理
(a)の一部を—一端焼入れ試験片—一端焼入れ試験
(a)の一部を—焼入れ歪み試験片—浸炭焼入れ焼戻し処理—浸炭焼入れ歪み量
(a)の一部を—回転曲げ疲労試験片—浸炭焼入れ焼戻し処理—ショットピーニング—回転曲げ疲労特性
(a)の一部を—歯車疲労試験片—浸炭焼入れ焼戻し処理

—ショットピーニング—歯車疲労特性

(a)の内の25mm丸棒鋼を—浸炭焼入れ焼戻し処理—引張試験片—強度

歯車の歯内部硬さの評価としては、上記「(14)歯車の歯内部硬さ」の項で述べたところから、一端焼入れ硬さで評価することができる。従って、J 9mmおよびJ 5mmでの一端焼入れ硬さの結果で代替した。

【0051】また、歯車疲労試験に供した歯車から歯部を切り出して所定の試験片を調製し、浸炭焼入れにともなう粒界酸化層深さ、焼入れ不良層深さ、および、有効硬化層深さを測定した。

【0052】非浸炭部の内部組織のフェライトの面積率%の測定は、浸炭焼入れ歪み量測定済みの試験片を用いて行なった。上述した各試験方法は次の通りである。

【0053】(1) 一端焼入れ試験
直径32mmの丸棒鋼から、つばのある直径25mmで長さ100mmの試験片を調製し、この試験片を925℃に中心部まで均一に昇温し、30分間保持した後、JIS法ジョミニー式一端焼入れ方法(G 0561)に従って一端焼入れ硬さを求めた。前記表1に、J 5mmとJ 9mmの一端焼入れ硬さの結果を併せて示す。

【0054】(2) 浸炭焼入れ歪み量
直径65mmの丸棒鋼から、図3に示した開口部2および円形状空間3を有する円盤状のネイビーC試験片1を調製した。図4は、ネイビーC試験片の側面図を示す。ネイビーC試験片1各部の寸法は、次のとおりである。

【0055】試験片直径(a):60mm、厚さ(b):12mm、円形状空間の直径(c):34.8mm、開口寸法(d):6mm。

上記形状のネイビーC試験片1を各供試鋼当たり10個作

製し、この試験片1に対し、上述した浸炭焼入れ焼戻し処理を施したときに生じた開口寸法の変化率を測定し、浸炭焼入れ歪み量とした。表2に、各供試鋼の焼入

れ歪み量を示した。

【0056】

【表2】

表 2

		No	粒界酸化層深さ (μm)	焼入れ不良層深さ (μm)	有効硬化層深さ (mm)	芯部強度 (N/mm^2)	平行部面積率 (%)	焼入れ歪み (%)	回転曲げ疲労強度 (N/mm^2)	歯車疲労耐久トルク (Nm)	ピッチの有無
実施例	本発明鋼	1	1	0	0.64	1221	30	0.85	780	370	なし
		2	5	0	0.67	1250	12	0.89	740	325	なし
		3	2	0	0.65	1202	20	0.73	775	360	なし
		4	3	0	0.47	1055	28	0.02	755	355	なし
		5	1	0	0.50	1050	13	0.18	755	350	なし
		6	2	0	0.50	1090	43	0.23	770	355	なし
		7	3	0	0.45	1020	15	0.06	740	325	なし
		8	3	0	0.49	1022	12	0.67	750	350	なし
		9	1	0	0.59	1160	31	0.53	775	350	なし
		10	2	0	0.55	1092	21	0.01	780	360	なし
		11	2	0	0.49	1020	13	0.13	745	335	なし
比較例	比較鋼	12	3	0	0.85	1484	0	4.84	760	330	なし
		13	1	0	0.50	1260	45	1.20	730	330	なし
		14	12	0	0.27	940	20	0.10	655	250	有り
		15	2	0	0.20	960	42	0.25	670	280	有り
		16	2	0	0.48	1100	31	1.45	700	310	なし
		17	4	0	0.51	1300	70	2.00	700	280	なし
	従来鋼	18	16	15	0.50	995	6	2.38	685	285	有り
		19	19	17	0.56	1090	6	2.70	680	290	有り
		20	17	15	0.63	1240	5	4.40	700	290	有り
		21	14	12	0.54	975	7	2.55	720	295	有り

【0057】(3) 非浸炭部のフェライト面積率%

次に、浸炭焼入れ歪み量測定済みの試験片を用いて、各供試鋼の浸炭焼入れ・焼戻し後における非浸炭部のフェライトマルテンサイト二相組織のフェライト面積率%を鏡試験で測定し、歯内部のフェライト面積率%と定義し、このフェライト面積率%を表2に示した。

【0058】(4) 回転曲げ疲労特性

直径20mmの丸棒鋼から、平行部直径10mmの試験片を採取し、平行部にこれと直角方向の深さ1mmの切り欠き(応力集中係数 $\alpha=1.8$)を全円周にわたってつけた、回転曲げ疲労試験片を調製し、この試験片に対し、ネイビーC試験片に対して施したと同じ条件で、浸炭焼入れ・焼戻し処理を施した後、ショットピーニング処理(アークハイト:0.6mmA、カバレッジ:300%)をし、このような処理の施された試験片に対し、小野式回転曲げ疲労試験機を使用して 10^7 回の回転曲げ疲労試験を行い、その回

転曲げ疲労強度を測定した。表2に、回転曲げ疲労強度の測定結果を示した。

【0059】(5) 歯車疲労特性、並びに、粒界酸化層深さ、焼入れ不良層深さ、有効硬層深さ、および、強度直径90mmの丸棒鋼から、切削加工によって外径75mm、歯幅10mm、モジュール2.5、歯数28枚の試験用歯車を調製し、上記回転曲げ疲労特性と同じ条件で、浸炭焼入れ・焼戻しおよびショットピーニング処理を施した後、得られた試験片に対し、動力循環式歯車疲労試験機を使用し、回転数:3000rpmで歯車疲労試験を行い、繰返し数 10^7 回で破損しなかったトルク値を歯車の歯元強度として求めた。表2に、歯車疲労耐久トルクおよびピッチングの有無を示した。

【0060】更に、歯車疲労試験に供した歯車から歯部を切り出して所定の試験片を調製し、浸炭焼入れにともなう粒界酸化層深さ、焼入れ不良層深さ、および、有効

硬化層深さを測定した。また、浸炭焼入れ焼戻し後の25mmφ丸棒からJIS4号引張試験片(平行部径:14mmφ)を調製し、引張試験を行ない、歯車芯部の強度を評価した。これらの結果を表2に示した。

【0061】表1および2から明らかなように、比較鋼No.12は、MnおよびCr含有量が本発明の範囲を超えて多く、Ac₃点パラメーターが819℃と低く、一端焼入れ硬さの高いため、焼入れ歪みが4.84%を大きくした。比較鋼No.13は、Mo含有量が本発明の範囲を超えて多く、このため焼入れ歪みが大きくなった。比較鋼No.14は、C、SiおよびMn含有量が本発明の範囲を外れて少なく、Nb含有量は本発明の範囲を超えて多く、このため粒界酸化層が深く、一端焼入れ硬さも低くなり十分な強度を確保することができず、回転曲げ疲労強度、歯車疲労耐久トルクが低くなった。また、浸炭焼入れ後における有効硬化層深さが0.27mmと浅いので、ピッチングが発生した。

【0062】比較鋼No.15は、Si含有量が本発明の範囲を超えて多く、Cr含有量が本発明の範囲を外れて少なく、このため十分な強度を確保することができず、回転曲げ疲労強度、歯車疲労耐久トルクが低くなり、また浸炭焼入れ後における有効硬化層深さが0.20mmと浅いのでピッチングが発生した。比較鋼No.16は、C、Al、NiおよびTiが本発明の範囲を超えて多く、焼入れ歪みが大きくなった。比較鋼No.17は、VおよびZrともに本発明の範囲を超えて多く、焼入れ歪みが大きくなった。またAc₃点パラメーターが967℃と高いのでフェライト面積率が本発明の範囲を超えて多くなり、このため十分な疲労強度を確保することができなかった。

【0063】従来鋼No.18~21は、従来のJISで規定された鋼種であって、従来鋼No.18はJIS SMn420であり、従来鋼No.19はJIS SCM420であり、従来鋼20もJIS SCM420であるが大型歯車部品用に焼入れ性を高めた鋼である。従来鋼21は、SNCM420であって、Si含有量およびAc₃点パラメーターが本発明の範囲を外れて少ない鋼である。これら従来鋼No.18~21は、フェライト面積率が5~7%であって本発明の範囲を外れて少なく、粒界酸化層深さおよび焼入れ不良層深さが大で、且つ焼入れ歪みが大きかった。

【0064】これに対し、本発明鋼No.1~11は、従来鋼に比べ粒界酸化層が大幅に低減し、焼入れ不良層が全く認められず、且つ浸炭焼入れ特性である浸炭の有効硬化層深さと芯部強度が従来鋼と同等であった。更に、12~43%のフェライトが存在するフェライト・マルテンサイト二相組織となっているので、焼入れ歪み量は1%以下と小さい。

【0065】図5に、本発明鋼および従来鋼の一端焼入れ試験後の試験片の焼入れ端から9mmの点でのロックウェルC硬さと浸炭焼入れ歪みとの関係を示す。これよ

り明らかなように、本発明により熱処理歪みは著しく低減され、同一の焼入れ硬さで比較すると、従来鋼に対して20~25%程度に小さくなっているのが判る。

【0066】また、表1および2から明らかなように、比較鋼No.14および15、並びに、従来鋼No.18~21は、低トルク領域で歯面にピッチングが発生した。これに対して本発明鋼No.1~11は、従来鋼よりも優れた疲労強度および歯元強度を有しており、且つ焼入れ不良層がなく、Si含有量の増加によって、焼戻し軟化抵抗が高くなり、ピッチングが発生せず、面圧強度も強化された。

【0067】

【発明の効果】この発明は、以上のように構成したので、浸炭焼入れ処理による歪み量が2.5%程度である従来鋼に比べて0~1%の間で調整可能であり、また大型部品として高い焼入れ性が要求される鋼に対しても、本発明鋼は歪み量を1%以下に調整することができる。且つ、歯車の歯元強度に優れた歯車用鋼を通常の浸炭焼入れ処理によって得ることができ、歯形修正を施さない自動車歯車として乗用車のみでなく、トラックやバス的大型歯車としても好適である上、建設機械、産業機械等の浸炭焼入れ後に歯形修正を必要とする歯車においても、浸炭焼入れ歪み量を減少し得るので、歯形修正を施す必要がなく、従って、加工コストの低減および生産性の向上を図ることができる高強度、低熱処理変形歯車およびその製造方法を提供することができ、工業上多くの優れた効果がもたらされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】歯車の内部硬さの測定位置を示す図である。

【図2】この発明で採用した浸炭焼入れ焼戻し処理の熱処理パターンを示す図である。

【図3】ネイビーC試験片の平面図である。

【図4】図3の側面図である。

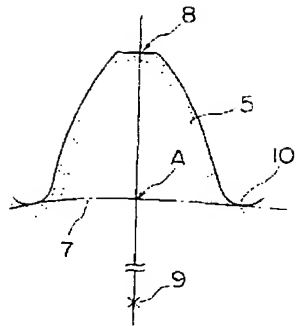
【図5】本発明鋼および従来鋼の一端焼入れ試験後の試験片の焼入れ端から9mmの点でのロックウェルC硬さと浸炭焼入れ歪みとの関係を示すグラフである。

【図6】歯車の歯内部、歯表面部および歯車芯部を説明する概略斜視図である。

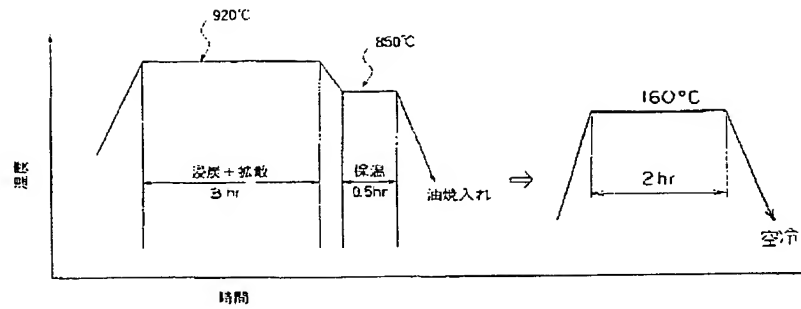
【符号の説明】

- 1 ネイビーC試験片
- 2 開口部
- 3 円形状空間
- 4 歯内部(非浸炭部)
- 5 歯表面部(浸炭部)
- 6 歯車芯部
- 7 歯底円の一部
- 8 歯先中心
- 9 歯車軸芯
- 10 歯底
- A 硬さ測定位置

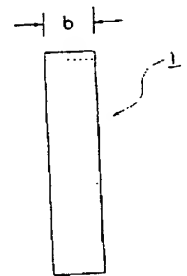
【図1】



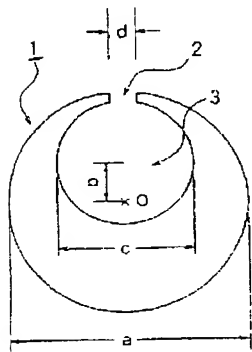
【図2】



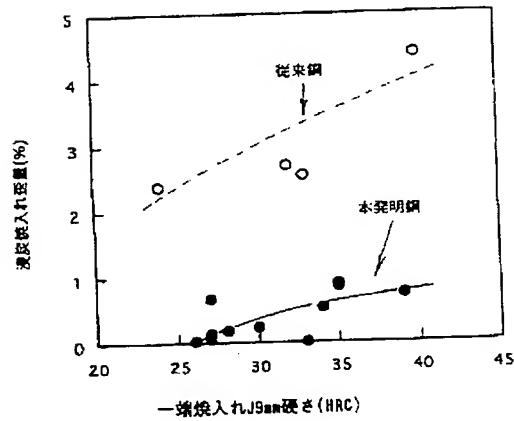
【図4】



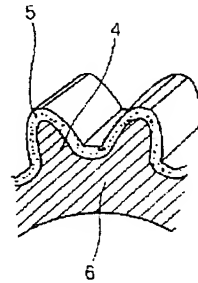
【図3】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁶
C 23 C 8/22

識別記号 序内整理番号

F 1
C 23 C 8/22

技術表示箇所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☒ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)